

количественный анализ Н-содержания функциональных групп средней ИК-области. Дальняя ИК-область – это неорганические и металлоорганические соединения, а также колебания скелетные, крутильные (деформационные циклы) и решёток твёрдых тел.

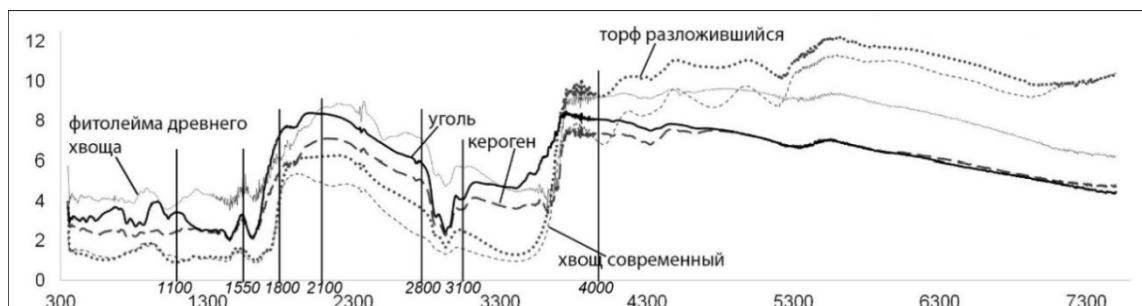


Рисунок. Спектры образцов: гербы, фитолеймы, торфа, керогена, ископаемого угля

Наиболее информативной является средняя область  $4000...600\text{ см}^{-1}$ , где  $4000...1400\text{ см}^{-1}$  – валентные, а  $1400...600\text{ см}^{-1}$  – деформационные связи. АПК «Спектротест» более детально позволяет изучать ОВ по интервалам ( $\text{см}^{-1}$ ), по отдельным группам:  $4000...3100$  – гидроксильные;  $3100...2800$  – углеводородные;  $2800...2100$  – углерода и азота в тройных связях;  $2100...1800$  – кумулированные (двойные связи углерода, азота, серы);  $2100...1550$  – карбонильные;  $1550...1100$  – простые и сложные эфиры, тиофены, амины;  $1100...350$  – неорганические соединения и металлосоединения. Данные можно интерпретировать по справочным таблицам [6].

Главной задачей проводимых исследований УФВ – это разработка новых методов интерпретации значений оптических частот ИК-спектра, позволяющих раскрыть структуру ОВ растительного происхождения и особенности её образования на молекулярном уровне.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18–35–00499.

#### Литература

1. Бутакова В.И., Попов В.К., Посохов Ю.М. Создание и развитие автоматизированного ИК-спектрального метода определения показателей качества углей // Кокс и химия, 2016. – № 6. – С. 9 – 13.
2. Жемчужников Ю.А. Две стадии образования ископаемых углей и их петрографическое выражение // Химия и генезис твёрдых горючих ископаемых: тр. пер. всесоюз. совещ. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – С. 38 – 43.
3. Иванов В.П. Комплексная оценка каменноугольно-пермских угленосных отложений и разработка промышленно-энергетической классификации ископаемых углей: Автореферат. Дис. ...докт. геол.-минер. наук. / – Томск, 2016. – 43 с.
4. Криштофович А.Н. Палеоботаника – Л.: Гостоптехиздат, 1957. – С. 651.
5. Геологический словарь в 2-х томах. Т. 2. Отв. Ред. Паффенгольц К.Н. 2-е изд., испр. – М.: Недра, 1978. – 456 с.
6. Преч Э., Бюльманн Ф., Аффольтер К. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных / М.: Мир; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 438 с.

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТИТАНА В ГРАНИТОИДАХ ПОЛИФАЗНОГО АЛЕЙСКО-ЗМЕИНОГОРСКОГО КОМПЛЕКСА (СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ ЧАСТЬ РУДНОГО АЛТАЯ)

Н.А. Калинина

Научный руководитель доцент К.Л. Новоселов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Магматические образования средне-позднедевонского возраста, развитые в северо-западной части Рудного Алтая, представляют единый полифазный алейско-змеиногорский магматический комплекс. В состав комплекса входят Новониколаевский, Алейский и Устьянский гранитоидные массивы, расположенные в пределах северной части Алейского поднятия между девонскими вулканогенными прогибами.

Новониколаевский массив локализован в северной периферии Алейского поднятия. В строении массива выделены породы пяти фаз внедрения, из которых наиболее распространены породы второй, третьей и четвертой фаз. Породы первой фазы встречаются в виде небольших овально-линзовидных, реже изометрических и неправильных ксеногенных тел, представленных интенсивно метаморфизованными габброидами и диоритоидами. Породы второй (главной) фазы внедрения образуют отдельные массивы и крупные поля. Среди пород второй фазы наиболее распространены кварцевые диориты, тоналиты и плагиограниты. Основными породами третьей фазы внедрения являются лейкоплагиограниты. Породы четвертой фазы широко распространены и слагают крупные штоки лейкогранитного состава и нередко содержат ксеногенные тела пород ранних стадий внедрения.

Алейский массив расположен южнее Новониколаевского плутона и сливается с ним в центральной части Алейского поднятия. Породы в целом аналогичны породам Новониколаевского массива, среди которых наиболее распространёнными являются тоналиты и плагиограниты [6].

Постановка задачи.

В гранитоидах алейско-змеиногорского комплекса отмечены повышенные содержания титана, что выражается в высоком коэффициенте титанистости. На основе данных [3, 8] абсолютные значения содержания титана для некоторых пород превышают стандартные.

Определение причин повышенного содержания титана поставило задачу изучения всех возможных минералов-носителей и минералов-концентраторов титана в исследуемых породах.

Для уточнения состава гранитоидов и определения возможных минералов-носителей и минералов-концентраторов титана породы изучались в шлифах под микроскопом.

Породы второй фазы представлены кварцевыми диоритами и плагиогранитами, коэффициент титанистости которых 12,48 и 9,73 соответственно [2, 6]. Породы светло-серые массивные с крупно-, среднезернистой структурой. Калиевый полевой шпат представлен ортоклазом. Среди фемических минералов преобладает роговая обманка, в незначительном количестве содержится биотит. Среди аксессуарных минералов развиты: эпидот, сфен, апатит, циркон, ильменит, магнетит. Породы Алейского массива отличаются порфировидным строением с фенокристаллами зонального андезина и кварца.

Породы третьей фазы массивные среднезернистые. Среди фемических минералов преобладает биотит, полевошпатовая составляющая представлена олигоклазом, микроклином и ортоклазом. Аксессуарные минералы: циркон, эпидот, апатит, ильменит, магнетит, гранат. Коэффициент титанистости пород 5,42 [2, 6].

Лейкограниты четвертой фазы массивные среднезернистого, реже мелкозернистого строения. Розовый цвет породам придает высокое содержание микроклина, который часто содержит пертитовые вроски олигоклаза. Ортоклаз присутствует в небольших количествах. Темноцветы представлены биотитом и эпизодически встречающимся мусковитом. Среди аксессуарных минералов широко распространены сфен, эпидот, циркон, апатит, рутил, магнетит, ильменит, монацит, ортит. Коэффициент титанистости пород 5,33 [2, 6].

Породы пятой фазы Новониколаевского массива не рассматриваются в связи с малым распространением и невысоким содержанием титана.

На основе полученных данных предположены следующие минералы-концентраторы титана: рутил, ильменит, сфен и минералы-носители биотит, роговая обманка, магнетит. Упомянутые минералы были отобраны из проб-протоколов для анализа их состава.

Сфен встречается в виде угловатых зерен, реже образует клиновидные кристаллы медово-желтого цвета с алмазным блеском. Сфен часто образует сростания с ильменитом и магнетитом.

Ильменит и магнетит легко узнаются по черному цвету и полуметаллическому блеску. Минералы встречаются как в виде неправильных угловатых обломков, так и в виде кристаллов. Ильменит образует таблитчатые кристаллы, магнетит – октаэдрические. Оба минерала содержат включения апатита.

Биотит встречается в виде темно-зелёных пластинчатых кристаллов с неровными зазубренными краями.

Химический состав отобранных зёрен определялся на электронном сканирующем микроскопе Tescan Vega 3 SBU с приставкой ЭДС Oxford. Анализ выполнялся доцентом отделения геологии ИПШПР канд. геол.-минер. наук, Т.Ю. Якич.

Формулы минералов рассчитаны кислородным методом, содержание воды взято теоретическое [1, 4, 5].

Состав ильменитов гранитоидов всех фаз внедрения близок к стехиометрии. Элементы-примеси в составе ильменита указывают на две генерации его выделения. Ильменит первой генерации кристаллизовался на раннемагматическом этапе, содержит примеси Mn, Al, Ca, замещающие Fe<sup>2+</sup>, и небольшие количества Si, замещающие Ti. Кристаллохимические формулы ильменита – (Fe<sub>0,87</sub>Al<sub>0,03</sub>Ca<sub>0,01</sub>Mn<sub>0,08</sub>)<sub>0,99</sub>(Ti<sub>0,95</sub>Si<sub>0,05</sub>)<sub>1</sub>O<sub>3</sub> (породы второй фазы внедрения), (Fe<sub>0,71</sub>Al<sub>0,03</sub>Mn<sub>0,01</sub>)<sub>0,75</sub>(Ti<sub>1,10</sub>Si<sub>0,02</sub>)<sub>1,12</sub>O<sub>3</sub> (гранитоиды третьей фазы). Ильмениты второй генерации преобладают в породах IV фазы и характеризуются только повышенными содержаниями примесного Mn – (Fe<sub>0,77</sub>Mn<sub>0,23</sub>)<sub>1</sub>Ti<sub>1</sub>O<sub>3</sub> [9].

Сфен пород II фазы в качестве основных примесей содержит Al и Fe, замещающие Ti. В меньших количествах присутствует Mg, замещающий Ca, и фосфор, входящий в состав анионного комплекса. Общая формула имеет вид (Ca<sub>0,93</sub>Mg<sub>0,13</sub>)<sub>1,06</sub>(Ti<sub>0,86</sub>Al<sub>0,1</sub>Fe<sub>0,07</sub>)<sub>1,03</sub>[(Si<sub>0,99</sub>P<sub>0,01</sub>)<sub>1</sub>O<sub>4</sub>]O. В сфене IV фазы отсутствует фосфор и повышается содержание алюминия по сравнению со II фазой – (Ca<sub>0,90</sub>Mg<sub>0,04</sub>)<sub>0,94</sub>(Ti<sub>0,69</sub>Al<sub>0,27</sub>Fe<sub>0,08</sub>)<sub>1,04</sub>[Si<sub>1,09</sub>O<sub>4</sub>]O.

Состав рутила близок стехиометрическому – (Ti<sub>0,99</sub>Si<sub>0,01</sub>Fe<sub>0,01</sub>Nb<sub>0,004</sub>)<sub>1,01</sub>O<sub>2</sub>.

Магнетит гранитоидов алейско-змеиногорского комплекса представлен двумя генерациями. К первой генерации относится раннемагматический обогащенный примесью титана магнетит – (Fe<sub>0,92</sub>Mn<sub>0,02</sub>)<sub>0,94</sub>(Fe<sub>1,94</sub>Al<sub>0,04</sub>Ti<sub>0,05</sub>)<sub>2,03</sub>O<sub>4</sub>, (Fe<sub>0,90</sub>Mn<sub>0,01</sub>Mg<sub>0,04</sub>Ca<sub>0,02</sub>)<sub>0,97</sub>(Fe<sub>1,88</sub>Al<sub>0,07</sub>V<sub>0,01</sub>Ti<sub>0,09</sub>)<sub>2,05</sub>O<sub>4</sub>. Магнетит второй генерации отличается отсутствием титана – (Fe<sub>0,87</sub>Mn<sub>0,03</sub>Mg<sub>0,04</sub>Ca<sub>0,02</sub>)<sub>0,96</sub>(Fe<sub>1,83</sub>Al<sub>0,16</sub>V<sub>0,02</sub>)<sub>2,01</sub>O<sub>4</sub>, (Fe<sub>0,95</sub>Mn<sub>0,02</sub>)<sub>0,97</sub>(Fe<sub>1,99</sub>Al<sub>0,03</sub>)<sub>2,02</sub>O<sub>4</sub>, (Fe<sub>0,87</sub>Ca<sub>0,03</sub>)<sub>0,90</sub>(Fe<sub>1,82</sub>Al<sub>0,25</sub>)<sub>2,07</sub>O<sub>4</sub>. Его формирование связано с выщелачиванием раннемагматического титаномагнетита гидротермальными растворами или с хлоритизацией биотита. Во втором случае железо связывается в виде магнетитовой сыпи [7]. Магнетит обеих генераций содержит примеси Mg, Mn, Ca, входящие в позицию Fe<sup>2+</sup>, а также Al и V, замещающие Fe<sup>3+</sup>.

Биотит плагиогранитов II фазы содержит примесь Al, Ti и Ca, входящих в структуру минерала по схеме изовалентного и гетеровалентного изоморфизма – K<sub>0,82</sub>(Mg<sub>0,26</sub>Fe<sub>0,30</sub>Al<sub>1,36</sub>Ca<sub>0,15</sub>Ti<sub>0,11</sub>)<sub>2,18</sub>[Al<sub>1,00</sub>Si<sub>3,09</sub>O<sub>10</sub>](OH<sub>1,87</sub>O<sub>0,13</sub>)<sub>2</sub>. В биотите лейкоплагиогранитов III фазы в качестве примесного элемента обнаружен только Al – K<sub>0,85</sub>(Mg<sub>0,17</sub>Fe<sub>0,36</sub>Al<sub>1,49</sub>)<sub>2,02</sub>[Al<sub>1,00</sub>Si<sub>3,18</sub>O<sub>10</sub>](OH<sub>1,92</sub>O<sub>0,08</sub>)<sub>2</sub>. Биотит лейкогранитов IV фазы отличается пониженным содержанием Al и повышенным – Mg и Fe. В качестве примесных элементов также установлены Ti и Mn – K<sub>0,77</sub>(Mg<sub>0,81</sub>Fe<sub>1,22</sub>Al<sub>0,33</sub>Mn<sub>0,03</sub>Ti<sub>0,13</sub>)<sub>2,52</sub>[Al<sub>1,00</sub>Si<sub>2,61</sub>O<sub>10</sub>](OH)<sub>2,05</sub>.

В роговой обманке Na замещается калием, Fe и Mg – марганцем. Титан входит в решетку в результате гетеровалентного изоморфизма – (Na<sub>0,37</sub>K<sub>0,15</sub>)<sub>0,51</sub>Ca<sub>1,70</sub>(Mg<sub>2,62</sub>Fe<sub>1,97</sub>Mn<sub>0,06</sub>)<sub>4,65</sub>(Al<sub>0,38</sub>Ti<sub>0,14</sub>)<sub>0,52</sub>[(Al<sub>1,05</sub>Si<sub>6,95</sub>)<sub>8</sub>O<sub>10</sub>](OH)<sub>2,05</sub>.

В процессе исследования была обнаружена примесь титана в некоторых зернах альмандина и ортита. Помимо Ti альмандин содержит примеси Mg, Ca и Mn, замещающие  $Fe^{2+}$ , а также примесь Al. Формулы альмандина имеют вид:  $(Fe_{3,10}Mg_{0,13}Ca_{0,02})_{3,25}(Al_{1,87}Ti_{0,04})_{1,91}[(Si_{2,71}Al_{0,29})_3O_{12}]$  и  $(Fe_{2,58}Mg_{0,45}Mn_{0,12}Ca_{0,04})_{3,19}Al_{1,84}[Si_{3,03}O_{12}]$ .

Ортит содержит примеси Mg, редкоземельных элементов, Th и P –  $(Ca_{0,87}Mg_{0,14}Th_{0,22}La_{0,37}Ce_{0,66}Pr_{0,09}Nd_{0,24})_{2,59}(Al_{1,00}Fe_{0,98})_{1,98}[(Si_{1,87}P_{0,62})_{2,49}O_{12}](OH)_{1,63}$ ;  $(Ca_{0,82}Mg_{0,11}Th_{0,01}La_{0,20}Ce_{0,40}Pr_{0,04}Nd_{0,11})_{1,69}(Al_{1,25}Fe_{1,21}Ti_{0,20})_{2,66}[Si_{3,02}O_{12}](OH)_{1,21}$ .

Распространенность Ti-содержащих минералов определяет его концентрацию в породах алейско-змеиногорского комплекса. В изучаемых гранитоидах акцессорные минералы распределены неравномерно. Наибольшим распространением во всех фазах пользуется магнетит, сфен и ильменит.

Учитывая распространенность отдельных минералов и процентное содержание в них титана, можно сделать вывод, что наибольшая доля титана в изучаемых породах приходится на пороодообразующий биотит и собственные акцессорные минералы титана – сфен и ильменит.

Вывод.

Повышенное содержание титана в изучаемых гранитоидах связано с наличием Ti-содержащих минералов. Основная доля титана приходится на биотит, сфен и ильменит.

Наличие титана в расплаве связано с основным составом родоначальной магмы. Эволюция магмы приводит к её дифференциации и последовательному выделению сначала основных пород I фазы, затем все более и более кислых, с постепенным уменьшением концентрации титана. Изначальное присутствие титана в расплаве подтверждается наличием раннемагматических рутила, ильменита и титансодержащего магнетита. Нахождение титана в позднемагматическом ильмените и биотите указывает, на его присутствие в расплаве на протяжении всех этапов эволюции магмы.

#### Литература

1. Булах А.Г. Расчет формул минералов. – Москва: Недра, 1964. – 132 с.
2. Ефремова С.В., Стафеев К.Г. Петрохимические методы исследования горных пород: Справочное пособие. – М.: Недра, 1985. – 511 с.
3. Складов Е.В. и др. Интерпретация геохимических данных: Учеб. пособие / Под ред. Б.В. Складова. – М: Интермет Инжиниринг, 2001. – 288 с.
4. Бетехтин А.Г. Курс минералогии. – М.: КДУ, 2007. – 721 с.
5. Лазаренко Е.К. Курс минералогии. – Москва: Высшая школа, 1971. – 606 с.
6. Туркин Ю.А., Новосёлов К.Л. Петролого-геохимические особенности девонских гранитоидов северо-западной части Рудного Алтая [Электронный ресурс] // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 1: Науки о Земле. – С. 5 – 15.
7. Туркин Ю.А., Новосёлов К.Л. Типоморфизм акцессорного титаномagnetита девонских гранитоидов Северо-Западной части Рудного Алтая [Электронный ресурс] // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 1: Науки о Земле. – С. 5 – 16.
8. Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Рыбина Н.В. Геохимия титана. – Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2018. – 432 с.
9. Novoselov K.L., Gavrilova K.A. Typomorphic characteristic features of accessory ilmenite in granitoids of the polyphase Aleisk-Zmeinogorsk complex (N-W Rudny Altai area) [Electronic resource] // MATEC Web of Conferences. – 2016. – Vol. 85: Chemistry and Chemical Technology in XXI Century (CCT 2016). – 4 p.

### ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГРАНИТОИДОВ МАССИВА ШАЛТАС (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАЗАХСТАН)

В.Д. Кеслер

Научный руководитель доцент И.В. Афонин

Национальный исследовательский Томский государственный университет г. Томск, Россия

Массив Шалтас располагается в Карагандинской области (Центральный Казахстан). Породы массива относятся к акчатаускому плутогенному комплексу, который простирается от Центрального Казахстана до Монголии [1]. Массив, по геофизическим данным имеет форму лополита [2].

Целью работы является выявление минералогических особенностей различных фаз гранитоидов акчатауского комплекса.

Для исследований были отобраны образцы пород в количестве 16 штук, шлифы были выполнены в центре коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем» Томского государственного университета.

Для пород первой фазы характерна крупно-среднезернистая, порфировидная и пертитовая структуры. В качестве порфировидных вкрапленников выступают зерна кварца и калиевых полевых шпатов. Минеральный состав пород представлен кварцем, плагиоклазом, калиевыми полевыми шпатами, биотитом, магнетитом, цирконом (табл. 1, рис. 1). В породах кварц часто представлен изотропными зёрнами. Зёрна циркона единичные и обособленные с высоким рельефом и высокими цветами интерференции, встречаются редко. Плагиоклаз, по большей части, представлен полисинтетическими двойниками, но в единичных случаях, встречается в виде зональных зёрен. Мусковит встречается редко в виде удлинённых таблитчатых зёрен, биотит слабо деформирован.

Для пород второй фазы внедрения характерна среднезернистая, порфировидная структуры. Аналогично первой фазе – порфировидные вкрапленники представлены кварцем и калиевым полевым шпатом. Минеральный состав: кварц, плагиоклаз, калиевые полевые шпаты, мусковит, биотит, магнетит, циркон, серицит (табл. 2, рис. 2).